УДК 553.4(479.25)

С. С. АКМАЕВА, А. О. АКОПЯН, К. А. КАРАМЯН, В. И. ЛУЦЕНКО

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
КАДЖАРАНСКОГО МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с оценкой золотоносности руд Каджаранского медно-молибденового месторождения. Помимо чисто минералогического метода выявления содержания золота в рудах, предлагается минералого-технологическое изучение руд месторождения путем технологического опробования всех конечных продуктов обогатительной фабрики и расчета баланса производства по извлекаемым ведущим металлам. Этот подход обеспечивает большую представительность опробования.

Геохимические и минеральные ассоциации и формы проявления золота и серебра в медно-молибденовых рудах достаточно подробно освещены в литературе [2, 7, 8, 9]. Но для оценки запасов золота и серебра в рудах Каджаранского месторождения, кроме сведений о минералах-носителях этих металлов, необходимы еще достоверные сведения о среднем уровне содержания благородных металлов в рассматриваемых запасах руд. Применительно к эксплуатируемым месторождениям, из руд которых получают товарные концентраты ведущих металлов—молибдена и меди, требуются также сведения об извлечении благородных металлов в товарные концентраты. Для ответа на эти вопросы необходима постановка комплексных минералого-технологических исследований.

Такого рода комплексные работы по характеристике редкометальности руд и продуктов обогащения проводятся в Арминпроцветмете в содружестве с ИГН АН Арм.ССР.

Что касается золота, то большим затруднением в этих исследованиях является низкое его содержание в руде, где оно обнаруживается пробирным анализом в ряде случаев в виде следов, а в хвостах обогащения этим методом золото совершенно не обнаруживается. Новые методы анализа, как атомно-абсорбционный и другие, снижают порог обнаружения малых содержаний золота в пробе ниже 0.1 г/г. Однако допустимые погрешности определения этих металлов в бедных пробах не позволяют принимать результаты анализа отдельных проб в качестве достоверных и здесь требуется статистический подход.

Существует мнение, что в этом случае учет золота в руде можно производить из расчета того количества, которое определяется в минералах-носителях [3], но, разумеется, такие прогнозы также остаются проблематичными.

По нашему представлению, существует два подхода к решению поставленных вопросов.

Один подход заключается в отборе на месторождении наиболее чистых образцов минералов, представляющих характерные стадии минерализации, и производстве в малом количестве тщательно проведенных анализов (в связи с трудностью отбора чистых образцов, вес и количество их обычно очень ограничены). Ясно, что представительность такого опробования невелика. Этот подход дает минералогическое освещение вопроса о характере геохимических ассоциаций металлов-спутников с их носителями и о формах проявления, что, безусловно, является научной основой исследований. Как показано в [3], на этой основе возможно строить прогнозы об уровне содержания золота в руде.

Второй подход, который мы развиваем в комплексных минералоготехнологических исследованиях, заключается в технологическом опробовании всех конечных продуктов обогатительной фабрики, которые включаются в расчет баланса производства по извлекаемым ведущим металлам, и проведении большого количества параллельных определений данного элемента из проб их дубликатов (в том числе и арбитражных определений в разных лабораториях). Наряду с пробами балансовых продуктов могут отбираться любые другие целесообразные пробы, например, пробы промежуточных продуктов в местах возможной аккумуляции драгоценных металлов по схеме технологического процесса, или групповые пробы, составленные из рядовых проб геологического опробования скважин. Этот подход обеспечивает большую представительность опробования и не ограничивает вес пробы и количество контрольных определений. Таким путем возможно из дубликатов сменных балансовых проб обогатительной фабрики составлять среднемесячные пробы и характеризовать уже большие промышленные объемы переработанной руды. Поскольку представительность этих проб велика, то данный подход дает устойчивую количественную оценку содержания золота в руде по статистически усредненному результату анализов.

Сочетание двух указанных подходов в комплексном исследовании служит верным способом решения поставленных вопросов.

Минералогическим исследованием установлено наличие самородного золота в рудах Каджаранского месторождения во всех главнейших минеральных ассоциациях. В кварц-молибденит-халькопиритовых рудах золото образует весьма мелкие выделения, размером до 5 мкм в тесном сростании с энаргитом. В кварц-халькопиритовых рудах золото образует также небольшие выделения в интерстициях зерен халькопирита и блеклой руды. В кварц-пиритовых рудах самородное золото образует включения размером 10 мкм в полях пирита. Наибольшее количество самородного золота установлено в рудах кварц-сфалерит-галенитовой ассоциации. Рудные тела этой стадии минерализации представлены небольшими жилами (до 12—30 см) и прожилками, а также образуют гнездообразные скопления среди руд других стадий минерализации. Минеральный состав полиметаллического оруденения довольно разнообразен; здесь выделяются две парагенетические ассоциации, следующие

друг за другом: первая—пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, тетраэдрит; вторая—алтант, гессит, петцит, самородный висмут, самородное золото, креннерит, тетрадимит.

Однако полиметаллическая ассоциация не образует заметного скопления руд и поэтому главную практическую ценность представляет субмикроскопическое (дисперсное) золото, заключенное в халькопирите. Самостоятельный минерал—теллурид золота—петцит, имеет не только минералогическое значение, но может влиять на уровень извлечения золота в медный концентрат.

Самородное серебро в основной своей массе также отмечается в полиметаллической ассоциации. В сульфидах серебро присутствует в виде изоморфной примеси. Собственные минералы—аргентит и гессит (теллурид серебра) имеют ограниченное значение. Характерно, что наличие серебра в виде «фона» (порядка 1 г/т) отмечено практически во всех породообразующих минералах, что сказывается на показателе его потерь в хвостах процесса обогащения.

Таблица 1

Содержание металлов в пробах, характерных для различных минеральных ассоциаций руд Каджаранского месторождения.

Минеральные ассоциации	Колич. проб	С о д е р ж а н и е			
		%		г/т	
		молибден	медь	золото	серебро
Кварц-молибденитовая	40	2,38	0,3	следы	1,2
Кварц-молибденит-халькопиритовая	23	0,954	1,44	0,1	3,87
Кварц-халькопиритовая	27	0,209	2,9	0,3	9,8
Кварц-пиритовая	25	0,197	0,711	0,3	8,57
Кварц-галенит-сфалеритовая	6	0,35	1,13	следы	55,8
С р е д н е е	121	0,81	1,29	0,14	7,84

Для характеристики представительности минералогического опробования руд в различных минеральных ассоциациях, с учетом различий в текстуре, в табл. 1 и 2 приведены результаты анализа штучных проб. Указанные данные позволяют составить лишь весьма ориентировочные представления о связи золота и серебра с основными металлами внутри различных минеральных ассоциаций.

Более определенное, но также приблизительное представление о минералах-носителях благородных металлов можно сделать по результатам анализа образцов чистых минералов, приведенным в табл. 3.

Носителями золота и серебра являются в основном медные минералы—халькопирит и борнит. Большое содержание золота, и особенно серебра, отмечается в сфалерите и галените, однако эти минералы являются нежелательной примесью в товарных медных и молибденовых концентратах, поэтому некоторая часть из них депрессируется в процессе флотации и теряется в хвостах.

Таблица 2

Содержание металлов в пробах Каджаранского месторождения, отличающийся различной текстурой.

Текстура пробы	Содержание			
	г/т		%	
	молибден	медь	золото	серебро
Кварц-молибденитовый прожилок	2,2	0,7	не обн.	3,2
Кварц-молибденитовая жилка	1,6	0,1	не обн.	5,8
Кварц-молибденит-халькопиритовый прожилок	0,85	1,3	не обн.	2,0
Медно-молибденит-халькопиритовая жилка	0,74	1,1	не обн.	7,6
Кварц-халькопиритовый прожилок	0,04	2,9	не обн.	не обн.
Кварц-пиритовый прожилок	0,02	0,17	не обн.	4,8
Кварц-пиритовая жилка	0,14	0,35	не обн.	—
Полиметаллическая	0,76	1,0	Следы	38,8

Таблица 3

Содержание золота и серебра в чистых минералах, отобранных из руд Каджаранского месторождения.

	Наименование минерала	Содержание г/т	
		золото	серебро
3/75	молибденит	не обн.	1,6
7/75	·	-	2,4
17/75	·	следы	2,2
7/75	·	не обн.	1,6
88/75	·	следы	1,8
2/75	халькопирит	4,0	34,0
6/75	·	1,2	5,4
10/75	·	2,8	4,6
16/75	·	1,4	13,2
11/75	·	5,2	32,8
13/75	·	следы	15,0
	среднее из 6	2,43	17,5
1/75	пирит	1,0	1,6
4/75	·	не обн.	не обн.
12/75	·	·	2,4
14/75	·	0,8	3,2
	среднее из 4	0,45	1,8
15/75	сфалерит	1,6	132,0
43/75	борнит	45,9	409,1
46/75	галенит	1,2	465,4
	·	0,8	620,0
48/75	·	не обн.	401,0

Интересно, что золото не обнаружено в чистых образцах молибденита, а содержание серебра в них едва превышает 2 г/т. Заметное содержание золота и серебра в молибденовом концентрате может быть связано с примесью флотоактивных минералов — галенита и теллуридов. Пирит в каджаранских рудах несет небольшие содержания благородных металлов.

Вот тот круг сведений, который дает минералогический подход.

Что же дает технологический подход в комплексном исследовании?

В табл. 4 приведены результаты пробирного анализа среднемесячных проб Каджаранской обогатительной фабрики за 11 месяцев. При прямом анализе проб руд содержание золота и серебра порядка 0,1 г/т дано ориентировочно, как следы, т. к. находится на пределе обнаружения пробирным методом.

Показанный в табл. 4 разброс содержания золота и серебра в продуктах обогащения позволяет сделать приближенную оценку уровня содержания этих металлов в концентратах, но эти анализы не могут быть использованы для составления баланса распределения металлов по продуктам обогащения, т. к. практически отсутствуют данные о содержании этих металлов в руде и хвостах обогащения.

С целью определения содержания золота в руде были привлечены анализы, выполненные Бронницкой экспедицией ИМГРЭ (Москва, 1978) атомно-абсорбционным методом, где чувствительность определения золота достигает 0,005 г/т.

Для увеличения степени достоверности результатов анализа, кроме данных табл. 4 (лаборатория обогащения руд Арминпроцветмета), были привлечены еще данные тематической партии Производственного геологоразведочного треста Управления цветной металлургии Арм. ССР, результаты анализа дубликатов среднемесячных проб, выполненных на определение золота атомно-абсорбционным способом (Бронницкая экспедиция) и определения серебра — пробирным анализом (лаборатория Геолуправления Арм. ССР). С целью увеличения количества параллельных определений были учтены данные по этим же пробам Зангезурского комбината, Алавердского горно-металлургического комбината и металлургической лаборатории Арминпроцветмета. Расчет среднего уровня содержания золота и серебра в продуктах обогащения Каджаранской фабрики приведен в табл. 5. Среднее содержание золота в руде рассчитано по результатам атомно-абсорбционного анализа из 19 проб. Среднее содержание серебра в руде рассчитано по результатам пробирного анализа и 30 проб. Среднее содержание благородных металлов в концентратах рассчитано из значительно большего количества проб.

Баланс благородных металлов для Каджаранской обогатительной фабрики приведен в табл. 6. Для ориентира, кроме извлечения золота и серебра, показано извлечение серы и меди.

Извлечение серы в медный концентрат составляет 63,9%, золота — 62,6% (т. е. находится на таком же уровне) и серебра — 24,5%. Это гово-

рит о том, что промышленным носителем благородных металлов является медный концентрат.

Значительно большие потери серебра в хвостах флотации, чем золота, связаны с депрессированным пиритом и сфалеритом, а также с фонем серебра в породообразующих минералах.

Вот тот круг сведений, который обеспечивается технологическим подходом в сочетании с минералогическим.

Технологический подход дает возможность, помимо указанного, производить количественную оценку геохимических связей минералов-

Таблица 4

Результаты анализа среднемесячных проб продуктов обогащения на золото и серебро.

Год, месяцы	Молибденовый концентрат		Медный концентрат		Хвосты	
	золото	серебро	золото	серебро	золото	серебро
1977 г. VII	0,8	24,8	2,2	31,2	не обн.	2,8
VIII	1,2	19,6	2,6	50,4	.	—
IX	0,6	27,6	1,6	63,4	.	2,6
X	1,0	27,6	2,4	45,6	.	3,4
XI	1,0	29,2	2,0	53,0	.	3,6
среднее	0,91	25,75	2,15	48,7	не обн.	3,1
1978 г.						
I	1,2	29,8	2,6	42,6	не обн.	3,4
II	1,0	30,0	2,6	54,4	.	2,2
III	0,8	24,2	1,6	49,0	.	0,6
IV	0,6	26,4	1,8	48,0	.	1,0
V	0,4	25,6	2,0	48,0	.	1,0
VI	0,8	26,2	1,8	42,6	.	1,2
среднее	0,6	27,0	2,0	47,4	не обн.	1,7

спутников с ведущими металлами руды. Это делается на основе взаимосвязи балансовых параметров процесса обогащения [6]. Параметр извлечения данного металла в концентрат и параметр выхода концентрата связаны общеизвестным уравнением:

$$\varepsilon = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \gamma,$$

где β —содержание металла в концентрате,

α —содержание металла в руде.

Как отмечалось выше, медный концентрат является носителем золота (1) и меди (2). Следовательно, для одного и того же выхода концентрата можно написать

$$\varepsilon_1 = \frac{\beta_1}{\alpha_1} \cdot \gamma.$$

Расчет средних значений содержания золота и серебра в концентратах

Наименование продукта	Номера лаборатории	золото			серебро		
		кол. проб	сод. г/т	металл	кол. проб	сод. г/т	металл
Медный концентрат	1	11	2,10	23,10	11	48,0	528,0
	2	19	1,94	37,81	—	—	—
	3	12	2,13	25,56	12	51,9	623,0
	4	19	1,48	28,12	19	39,2	649,8
	5	19	1,19	22,61	—	—	—
	6	12	1,48	17,76	12	51,13	613,5
Итого		92	—	154,96	54	—	2414,4
Среднее содержание			1,68 г/т		44,71 г/т		
Молибденовый концентрат	1	11	0,75	8,25	11	26,0	286,0
	4	18	0,84	15,12	18	20,4	367,2
	5	18	0,568	10,29	—	—	—
Итого		47	—	33,6	29	—	653,2
Среднее содержание			0,71 г/т		22,45 г/т		

Таблица 6

Баланс благородных металлов для технологической пробы руды Каджаранского месторождения.

Продукты	Содержание				Извлечение в %			
	мель %	сера %	ЗОЛОТО г/т	серебро г/т	медь	сера	ЗОЛОТО	серебро
Молибденовый концентрат	0,490	36,05	0,710	22,45	0,14	4,6	1,7	0,8
Медный концентрат	18,320	32,72	0,680	44,71	77,25	63,9	62,6	24,7
Хвосты	0,073	0,22	0,013	1,83	22,61	31,5	35,7	74,5

Взяв соотношение этих параметров, получаем:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\frac{\beta_1}{\beta_2}}{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} = \frac{M_k}{M_p}, \quad \text{отсюда } \varepsilon_1 = \varepsilon_2 \cdot \frac{M_k}{M_p},$$

где M_k и M_p соответственно модули Au в концентрате и руде.

Эта формула, впервые предложенная Акмаевой С. С. в 1961 г. для характеристики редкометальности руд и концентратов [6], дает возможность определить извлечение золота (1) по известному извлечению

меди (2), минус малое содержание золота в хвостах флотации, которое может внести большую погрешность.

Например, по данным табл. 6 имеем:

$$\varepsilon_2 = 77,25\%$$

$$M_k = \frac{1,68}{18,32} = 0,092,$$

$$M_p = \frac{0,036}{0,318} = 0,113,$$

$$\varepsilon_1 = 77,25 \cdot \frac{0,092}{0,113} = 77,25 \cdot 0,814 = 62,9\%.$$

Здесь коэффициент Акмаевой, равный 0,814, указывает на преимущественную геохимическую связь золота с медными минералами.

Когда величина модуля элемента-спутника по ведущему элементу выражается в концентрате и руде одинаковым числом, тогда коэффициент Акмаевой равен единице и $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$. Этот случай устанавливает изоморфизм обоих элементов в одном минерале. Таким путем, благодаря комплексному минералого-технологическому исследованию, была установлена изоморфная связь рения и молибдена в молибдените Каджаранского месторождения [2, 5].

Для серебра получаются следующие результаты:

$$M_k = \frac{44,71}{18,32} = 2,44,$$

$$M_p = \frac{2,43}{0,318} = 7,64,$$

$$\varepsilon_1 = 77,25 \cdot \frac{2,44}{7,64} = 77,25 \cdot 0,319 = 24,64\%.$$

Коэффициент 0,319 указывает на сравнительное малое значение ассоциации серебра с медными минералами. Следовательно, по величине указанного коэффициента можно количественно охарактеризовать величину геохимических связей элементов—спутников с ведущими металлами в рудах. Это есть технологическое подтверждение наблюдаемой ассоциации.

В том случае, когда содержание благородного или редкого элемента в руде определяется с большой погрешностью, можно ориентировочно определять «извлекаемое» содержание редкого элемента.

Арминпроцветмет,

Институт геологических наук

АН Армянской ССР

Поступила 21 IV.1980.

ՔԱԶԱՐԱՆԻ ՊՂԻՆՁ — ԸՆԴՈՒՄՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ԱԶՆԻՎ
ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հոդվածում քննարկվում է Քաջարանի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի հանքանյութերի ոսկեբերության գնահատման հարցը: Հանքանյութերում ոսկու պարունակության դուտ միներալոգիական ուսումնասիրության մեթոդից բացի, առաջարկվում է նաև նրանց միներալա-տեխնոլոգիական ուսումնասիրությունը, հարստացուցիչ ֆաբրիկայի վերջնական նյութերի տեխնոլոգիական նմուշարկման և կորզվող գլխավոր մետաղների արտադրության բալանսային հաշվարկման ճանապարհով: Նման մոտեցումն ապահովում է նմուշարկման բարձր ճշգրտությունը:

S. S. AKMAYEVA, A. O. HAKOPIAN, C. A. CARAMIAN, V. I. LUTSENKO

ON THE KADJARAN PORPHYRY DEPOSIT PRECIOUS
METALS ESTIMATION

Abstract

The problems connected with Kadjaran porphyry deposit ores auriferousness estimation are considered. Besides the purely mineralogical method of gold content study in ores a mineralogical-technological one is proposed by means of technological sampling of the concentrating mill all final products as well as a production balance calculation for extracted leading metals. Such a method of approach secures the great representativeness of the sampling.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Акмаева С. С. Технологическая оценка руд и концентратов по извлекаемому содержанию рассеянных элементов, Научные труды НИГМИ, вып. II, Ереван, 1961.
2. Акмаева С. С., Карамян К. А. К методике определения редких и рассеянных элементов в медно-молибденовых рудах Армянской ССР, ДАН Арм. ССР, том 51, № 3, 1970.
3. Быбочкин А., Сеченица Л. М., Бураков Е. В. Принципы определения предельных содержаний рассеянных элементов для подсчета их запасов в комплексных рудах, Разведка и охрана недр, № 11, 1975.
4. Карамян К. А. Текстуры и структуры руд эндогенных месторождений Зангезура, Изд. АН Арм.ССР, 1972.
5. Луценко В. И., Акмаева С. С. О балансе распределения рассеянных металлов в продуктах обогащения, ДАН Арм.ССР, том. XXX, № 2, 1960.

6. *Луценко В. И., Шехян Г. Г.* Анализ взаимосвязи параметров процесса обогащения, Научные труды НИГМИ, вып. III, Ереван, 1962.
7. *Мкртчян С. С., Карамян К. А., Ареншатян Т. А.* Каджаранское медно-молибденовое месторождение. Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1969.
8. *Пиджян Г. О.* Медно-молибденовая формация руд Армянской ССР, Изд. АН Арм ССР, Ереван, 1975.
9. *Фарамазян А. С.* Каджаранское медно-молибденовое месторождение (минералогия, геохимия). В кн.: «Минералогия, геохимия и условия образования рудных месторождений Армянской ССР», Ереван, 1974.